

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-091211

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl. G05B 13/04
G05B 13/02
G05B 23/02
G05B 23/02

(21)Application number : 08-291311

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 13.09.1996

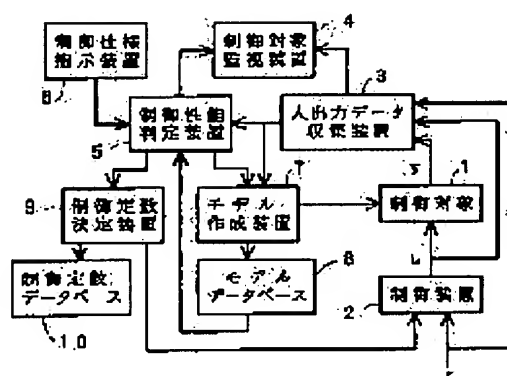
(72)Inventor : YUKITOMO MASANORI
INO MINORU
NISHIMURA OSAMU

(54) CONTROL CONSTANT ADJUSTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the control constant adjusting device which can minimize the frequency of implementation of a system identifying test.

SOLUTION: This control constant controller is equipped with an input/output data gathering means 3 which gathers manipulated variables and controlled variables, a control performance decision means 5 which decides the control performance of a feedback system, a control specification indicating means 6 which gives the control specifications of the feedback system, a model generating means 7 which generates a transfer function model, and a control constant determining means 9 which calculates a control constant. The control performance decision means 5 decides whether or not the precision of the transfer function model meets a specific reference value, and indicates the restructuring of the transfer function model to the model generating means 7 when it is judged that the reference value is not met and indicates the variation of the control constant to the control constant determining means 9 when it is judged that the reference value is met.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In the controlled parameter adjusting device for adjusting the controlled parameter of the control unit of a feedback system A I / O data collection means to collect the control inputs and controlled variables which are I/O of a controlled system, A controllability ability judging means to judge the controllability ability of said feedback system based on said controlled variable collected by said I / O data collection means, and said control input, A control specification directions means to give the control specification of said feedback system, It has a model creation means to create the transfer function model of said controlled system, and a controlled parameter decision means to calculate the controlled parameter of said control unit. Said controllability ability judging means When the controllability ability of said feedback system does not fulfill said control specification, It judges whether the precision of said transfer function model fulfills the predetermined reference value. When it is judged that said predetermined reference value is not fulfilled, reconstruction of said transfer function model is directed to said model creation means. Until it directs to change said controlled parameter to said controlled parameter decision means and the controllability ability of said feedback system comes to fulfill said control specification on the other hand, when it is judged that said predetermined reference value is fulfilled The controlled parameter adjusting device characterized by repeating precision evaluation of said transfer function model, reconstruction of said transfer function model, or modification of said controlled parameter, and performing it.

[Claim 2] The controlled parameter adjusting device according to claim 1 characterized by having further a controlled-system monitor means to display the trend data of said controlled variable and said control input.

[Claim 3] Said controlled-system monitor means is a controlled parameter adjusting device according to claim 2 characterized by having the trend data display section which displays the trend data of said controlled variable and said control input, the controllability ability display which displays the controllability ability of said feedback system, the switch section which makes start or stops adjustment of said controlled parameter, and the adjustment mode display which displays the current adjustment mode under adjustment of said controlled parameter.

[Claim 4] Said controllability ability judging means is a controlled parameter adjusting device given in any 1 term of claim 1 characterized by having a model precision judging means to measure the controlled-variable calculated value computed by said transfer function model, and said controlled variable obtained as an output of said controlled system, and to judge the precision of said transfer function model thru/or claim 3.

[Claim 5] An identification condition decision means to determine the identification conditions of the identification signal added to said controlled system in order that said model creation means may create said transfer function model, An identification signal generation means to generate said identification signal, and an identification signal impression means to add said identification signal generated in this identification signal generation means to said controlled system, Said controlled variables and said control inputs when adding said identification signal to said controlled system with this identification signal impression means are collected. An identification data collection processing means to perform suitable filtering processing to said collected controlled variable and said control input, and to create identification data, A model structure determination means to determine a model parameter required in

order to determine said transfer function model of said controlled system based on said identification data, A controlled parameter adjusting device given in any 1 term of claim 1 characterized by having a transfer-function-model presumption means to determine said transfer function model based on said model parameter thru/or claim 4.

[Claim 6] It is a controlled parameter adjusting device given in any 1 term of claim 1 which has further the model database which saves said transfer function model determined by said model creation means, and is characterized by using for said controllability ability judging means said not only newest transfer function model but said transfer function model of the past saved in said model database, and evaluating the precision of said transfer function model thru/or claim 5.

[Claim 7] A design-parameter decision means to determine the value of a design parameter required in order that said controlled parameter decision means may calculate said new controlled parameter, A controlled parameter count means to ask for said controlled parameter using said design parameter, A controlled parameter rate-of-change count means to judge whether the rate of change between the controlled parameter called for last time and the controlled parameter called for this time is calculated, and said rate of change is within the limits of predetermined, A preparation, When it judges that said rate of change is out of range [predetermined / said] with said controlled parameter rate-of-change count means, with said design-parameter decision means A controlled parameter adjusting device given in any 1 term of claim 1 characterized by changing said design parameter and asking for a predetermined controlled parameter thru/or claim 6.

[Claim 8] It has further the controlled parameter database which saves said controlled parameter applied to said control device in the past. In spite of having applied said new controlled parameter determined with said controlled parameter decision means to said control device, when the controllability ability of said feedback system does not fulfill said control specification A controlled parameter adjusting device given in any 1 term of claim 1 characterized by applying said controlled parameter of the past saved in said controlled parameter database to said control unit thru/or claim 7.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention] .

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the controlled parameter adjusting device of the reiterative type for adjusting the controlled parameter of the control unit in a feedback system.

[0002]

[Description of the Prior Art] Drawing 8 shows the outline configuration of the feedback system currently used as a control system of various industrial plants. In case the controlled variable of a controlled system 1 is controlled to desired value r in this feedback system, a control input u is outputted from a control unit 2 to a controlled system 1, and the controlled variable y which is the output of the control unit 2 to this control input u is measured. And the measured controlled variable y is fed back and the new control input u is again outputted from a control unit 2 to a controlled system 1 as compared with desired value r .

[0003] The controlled parameter of the control unit in a feedback system is beforehand determined as the optimal value, in order to operate a plant the optimal. However, it may deviate from the optimal operational status by property change of a plant. Therefore, when an operating staff monitors the

operational status of a plant continuously and deviates from the optimal operational status, it is necessary to readjust a controlled parameter. In readjustment of this controlled parameter, the approach an operating staff changes a controlled parameter manually, or the method of changing a controlled parameter using an auto tuning tool is taken.

[0004] The conventional auto tuning tool changes a controlled parameter with procedure as shown in drawing 9. First, when generating an identification signal with identification condition decision equipment 90, the class of required signal etc. is determined. Next, based on the conditions determined with identification condition decision equipment 90, an actual identification signal is calculated by identification signal generation equipment 91, and an identification signal is impressed to the applied place specified by identification signal impression equipment 92. And the time series data y and u of the controlled variable y of the controlled system 1 while the identification signal is impressed, and a control input u are collected with identification data collection and processing equipment 93. Next, model structure determination equipment 94 determines parameters, such as structure of a transfer function model. Transfer-function-model presumption equipment 95 determines a transfer function model using the parameter and time series data y and u which were determined with model structure determination equipment 94, such as model structure. Next, design-parameter decision equipment 96 determines a design parameter, and controlled-parameter decision equipment 97 determines a new controlled parameter. And it is the conventional auto tuning technique to repeat the above-mentioned procedure and to perform it until it observes the operational status of a plant with the application of a new controlled parameter to a control unit and the optimal operational status is acquired.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since the system identification trial carried out in the conventional auto tuning tool mentioned above is what adds the disturbance signal called an identification signal to a controlled system, it has the problem of having a bad influence on plant operation and causing degradation of the product quality currently produced etc. And in the conventional auto tuning tool, since a system identification trial is performed at every adjustment, by the time the optimal controlled parameter can be found, it is necessary to perform many identification trials. Moreover, although the optimal controlled parameter is designed by the conventional technique based on the obtained transfer function model, between a transfer function model and a controlled system, a gap surely exists in fact. Therefore, the response when applying the controlled parameter for which it asked to a control device differs from the response which used and predicted the transfer function model in advance greatly, and may make a feedback system unstable depending on the case.

[0006] Then, this invention cancels the various troubles mentioned above, and aims at offering the controlled parameter adjusting device which can stop the count of operation of a system identification trial to the minimum.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 1 In the controlled parameter adjusting device for adjusting the controlled parameter of the control unit of a feedback system A I / O data collection means to collect the control inputs and controlled variables which are I/O of a controlled system, A controllability ability judging means to judge the controllability ability of said feedback system based on said controlled variable collected by said I / O data collection means, and said control input, A control specification directions means to give the control specification of said feedback system, It has a model creation means to create the transfer function model of said controlled system, and a controlled parameter decision means to calculate the controlled parameter of said control unit. Said controllability ability judging means When the controllability ability of said feedback system does not fulfill said control specification, It judges whether the precision of said transfer function model fulfills the predetermined reference value. When it is judged that said predetermined reference value is not fulfilled, reconstruction of said transfer function model is directed to said model creation means. Until it directs to change said controlled parameter to said controlled parameter decision means and the controllability ability of said feedback system comes to fulfill said control specification on the other hand, when it is judged that said predetermined reference value is fulfilled It is characterized by repeating precision evaluation of said transfer function model, reconstruction of said transfer function model, or modification of said controlled parameter, and performing it.

[0008] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 2 is characterized by having further a controlled-system monitor means to display the trend data of said controlled variable

and said control input.

[0009] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 3 is characterized by to equip said controlled-system monitor means with the trend data display section which displays the trend data of said controlled variable and said control input, the controllability ability display which displays the controllability ability of said feedback system, the switch section which makes start or stops adjustment of said controlled parameter, and the adjustment mode display which displays the current adjustment mode under adjustment of said controlled parameter.

[0010] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 4 is characterized by having a model precision judging means for said controllability ability judging means to measure the controlled-variable calculated value computed by said transfer function model, and said controlled variable obtained as an output of said controlled system, and to judge the precision of said transfer function model.

[0011] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 5 An identification condition decision means to determine the identification conditions of the identification signal added to said controlled system in order that said model creation means may create said transfer function model, An identification signal generation means to generate said identification signal, and an identification signal impression means to add said identification signal generated in this identification signal generation means to said controlled system, Said controlled variables and said control inputs when adding said identification signal to said controlled system with this identification signal impression means are collected. An identification data collection processing means to perform suitable filtering processing to said collected controlled variable and said control input, and to create identification data, It is characterized by having a model structure determination means to determine a model parameter required in order to determine said transfer function model of said controlled system based on said identification data, and a transfer-function-model presumption means to determine said transfer function model based on said model parameter.

[0012] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 6 has further the model database which saves said transfer function model determined by said model creation means, and said controllability ability judging means is characterized by using said not only newest transfer function model but said transfer function model of the past saved in said model database, and evaluating the precision of said transfer function model.

[0013] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 7 A design-parameter decision means to determine the value of a design parameter required in order that said controlled parameter decision means may calculate said new controlled parameter, A controlled parameter count means to ask for said controlled parameter using said design parameter, A controlled parameter rate-of-change count means to judge whether the rate of change between the controlled parameter called for last time and the controlled parameter called for this time is calculated, and said rate of change is within the limits of predetermined, When it judges that said rate of change is out of range [predetermined / said] with a preparation and said controlled parameter rate-of-change count means, it is characterized by changing said design parameter and asking for a predetermined controlled parameter with said design-parameter decision means.

[0014] The controlled parameter adjusting device by invention according to claim 8 has further the controlled parameter database which saves said controlled parameter applied to said control device in the past, and in spite of having applied said new controlled parameter determined with said controlled parameter decision means to said control device, when the controllability ability of said feedback system does not fulfill said control specification, it is characterized by applying said controlled parameter of the past saved in said controlled parameter database to said control device.

[0015]
[Embodiment of the Invention] Hereafter, the controlled parameter adjusting device of the reiterative type by the operation gestalt of this invention is explained with reference to drawing 1 thru/or drawing 6. Drawing 1 shows the outline configuration of the controlled parameter adjusting device by this operation gestalt, and the control unit 2 for controlling this controlled system 1 is connected to the controlled system 1. Moreover, in drawing 1, Sign r shows the desired value of a controlled system 1, Sign y shows the controlled variable which is the output of a controlled system 1, and Sign u shows the control input which is the output of a control unit 2. Such desired value r, a controlled variable y, and a control input u are sent to I / O data collection equipment 3 through a signal line, and for every observation period of a certain, time series data are inputted and they are saved. The data saved to I /

O data collection equipment 3 are sent to controllability ability judging equipment 5 while they are inputted into controlled-system supervisory equipment 4 for every observation period.

[0016] Controllability ability judging equipment 5 judges whether based on the control specification given from each observation data (I / O data) sent from I / O data collection equipment 3, and the control specification designating device 6, the controllability ability of a feedback system fulfills control specification. Furthermore, controllability ability judging equipment 5 judges whether the precision of the transfer function model used now fulfills the predetermined reference value, when the controllability ability of a feedback system does not fulfill control specification. And when the precision of a transfer function model judges that the predetermined reference value is not fulfilled, reconstruction of a transfer function model is directed to the model listing device 7, and it directs to change a controlled parameter to controlled parameter decision equipment 9, without reconstructing a transfer function model, when it is judged on the other hand that the precision of a transfer function model fulfills the predetermined reference value.

[0017] Moreover, the transfer function model obtained by the model listing device 7 is saved in the model database 8, and the controlled parameter obtained with controlled parameter decision equipment 9 is saved in the controlled parameter database 10.

[0018] Drawing 2 (a) and (b) show an example of the screen of the display monitor 11 of controlled-system supervisory equipment 4, (a) shows the case where the control state of a control system is good, and (b) shows the case where the control state of a control system is not good. And the amount of each inputted into controlled-system supervisory equipment 4, such as a controlled variable and a control input, is displayed on trend data display window 11d of the display monitor 11. Furthermore, the display monitor 11 of controlled-system supervisory equipment 4 has controllability ability viewing-window 11a, adjustment initiation / termination carbon button 11b, and adjustment mode viewing-window 11c. The present controllability ability obtained from the controllability ability judging equipment 5 shown in drawing 1 is graphically displayed on controllability ability viewing-window 11a, and the message of an or [the control state of a control system is good or (refer to drawing 2 (a)) adjustment is required (refer to drawing 2 (b))] is displayed on it. When adjustment is required, while indicating the message by flashing, an alarm is sounded and it tells being adjusted to an operating staff. And when it is judged that an operating staff adjusts a controlled parameter, adjustment is started by pushing the initiation carbon button of an adjustment initiation carbon button / termination carbon button 11b. In addition, adjustment can be stopped by pushing a termination carbon button to stop adjustment on the way. Moreover, it is "supervision mode" of only only displaying the trend data of a controlled variable y and a control input u, or (refer to drawing 2 (a)) is in "adjustment mode" in which the controlled parameter is adjusted, or (refer to drawing 2 (b)) a message indicator is carried out to adjustment mode viewing-window 11c. Furthermore, in the case of adjustment mode, "the inside of model creation", and when model creation is being performed to adjustment mode viewing-window 11c, and the controlled parameter is determined again, a message is displayed "under controlled parameter decision", and it is made for an operating staff to know of which phase in adjustment mode processing is performed now.

[0019] Drawing 3 shows the outline configuration of controllability ability judging equipment 5, and this controllability ability judging equipment 5 is equipped with control state judging equipment 30. The control specification given with each observation data (I / O data) sent from I / O data collection equipment 3 and the control specification designating device 6 is inputted into this control state judging equipment 30. Here, control specification is given by time amount until the effect is removed etc., when the settling time and disturbance until it reaches desired value when the desired value of a controlled variable is changed are added. Furthermore, control specification is given with a value with a certain width of face, and control is judged to be carried out good while being in this width of face.

[0020] Control state judging equipment 30 judges how many control specification the present feedback loop system fulfills based on each observation data (I / O data) and control specification, and displays it on the display monitor 11 of the controlled-system supervisory equipment 4 which showed the result to drawing 2 . And when it deviates from control specification greatly, an operating staff is told about that by the display on the display monitor 11, or the alarm, and he is urged to start adjustment of a controlled parameter. And when an operating staff directs adjustment of a controlled parameter, the following procedures adjust a controlled parameter.

[0021] First, it judges whether delivery and this transfer function model fully express the response of the present controlled system 1 with the model precision judging equipment 31 which showed the transfer function model (controlled-system model) of the controlled system 1 saved in the model

database 8 to drawing 3 . Specifically, model precision multiplier $**G$ is calculated with model precision multiplier count equipment 40 using the controlled parameter of the I / O data of a controlled system 1, and the current control device 2, and the transfer function model of a controlled system 1. The difference of the output response of the controlled system 1 when applying the same input and the transient response of an output response of a transfer function model, a difference with the frequency response obtained from frequency analysis, etc. can be used for count of this $**G$. For example, when the output response (controlled-variable calculated value) when applying the input (control input) u of a controlled system 1 to transfer-function-model M is made into y' using the model precision judging equipment 31 shown in drawing 4 , square norm $**G = |F(y - y')|^2$ of the difference of this output response y' and controlled variable y are calculated. Here, F is a suitable data filter and, generally a low pass filter is used.

[0022] And a controlled parameter is adjusted using this transfer function model, without judging with the precision of a transfer function model being enough, and performing a system identification trial and reconstruction of a transfer function model, if the maximum allowed value of square norm $**G$ is set to $**G_{max}$, and it becomes $**G \leq **G_{max}$ as shown in drawing 3 . On the other hand, the transfer function model which fills $**G \leq **G_{max}$ is reconstructed by the model listing device 7 noting that the precision of a transfer function model is inadequate, when set to $**G > **G_{max}$.

[0023] Drawing 5 shows the outline configuration of the model listing device 7, and first, when generating an identification signal with identification condition decision equipment 50, it determines the class of required signal, the magnitude of a signal, the impression time amount of a signal, an applied place, etc. There are a step-like signal, a square wave-like signal, an M sequence signal, a random signal, etc. in the class of signal. Moreover, the applied place of a signal has a control input u , desired value r , etc. of a controlled system 1. Next, based on the conditions determined with identification condition decision equipment 50, an actual identification signal is calculated by identification signal generation equipment 51, and an identification signal is impressed to the applied place specified by identification signal impression equipment 52.

[0024] And with identification data collection processing equipment 53, the time series data y and u of the controlled variable y of the controlled system 1 while the identification signal is impressed, and a control input u are collected, and filtering processing is performed using the pretreatment filter F_d to the collected data. This pretreatment filter F_d can use a low pass filter with a passband comparable as the data filter F which is a suitable data filter, for example, was used by model precision evaluation. The time series data of the controlled variable y after performing filtering processing, and a control input u are set to y_f and u_f .

[0025] Next, model structure determination equipment 54 determines a parameter required for model decision, such as structure of a transfer function model, a degree of a model, and the die length of the dead time. Here, an ARX model and ARMAX model structure can be used for the structure of a transfer function. Transfer-function-model presumption equipment 55 determines a transfer function model using the parameter and time series data y_f and u_f which were determined with model structure determination equipment 54, such as model structure.

[0026] The determined transfer function model is saved in the model database 8 shown in drawing 1 , and it is judged whether $**G \leq **G_{max}$ is satisfied with controllability ability judging equipment 5. And when the determined transfer function model has not satisfied $**G \leq **G_{max}$, each parameter in model structure determination equipment 54 is changed, and the transfer function model which fulfills conditions is created. Even if it changes a parameter, when the transfer function model which fulfills conditions cannot be created, the identification conditions in identification condition decision equipment 50 are changed, and it redoes from a system identification trial. And the procedure mentioned above until the transfer function model which fulfills the above-mentioned conditions was obtained is repeated, and a transfer function model is reconfigured. When the transfer function model which fills $**G \leq **G_{max}$ is obtained, a new predetermined controlled parameter within the limits which fulfills control specification with the controlled parameter decision equipment 9 shown in drawing 1 is determined.

[0027] Drawing 6 shows the outline configuration of controlled parameter decision equipment 9, and, below, explains the decision procedure of a controlled parameter with reference to drawing 6 . In addition, although various control units, such as PID-control equipment, an optimal regulator, and Hinfinity control unit, are usable, below, PID-control equipment is explained to the control unit 2 shown in drawing 1 as an example. moreover -- the typical decision approach of the controlled parameter of

PID-control equipment -- a resolution sensitivity method and Ziegler and Nichols -- there are law, a partial model matching technique, a frequency model matching technique to a closed-loop response, etc. Here, an optimal regulator with the number weight of rounds is explained using the frequency model matching technique made into the reference model as an example.

[0028] Although what is necessary is just to give a suitable transfer function about the frequency weight of an optimal regulator, it is realizable by using the inverse system of the transfer function of a secondary delay system which has a passband comparable as the pretreatment filter used for reconstruction of a model, for example. Moreover, if the weighting factor of the performance index for designing an optimal regulator is set to Q , this multiplier Q will become a design parameter for designing an optimal regulator. The design-parameter decision equipment 60 which showed this multiplier Q to drawing 6 determines.

[0029] Next, controlled parameter count equipment 61 determines the controlled parameter of PID-control equipment using the transfer function model of the design parameter determined with design-parameter decision equipment 60, and a controlled system. And rate-of-change $**C$ of the controlled parameter computed with controlled parameter count equipment 61 this time and a current controlled parameter is calculated with controlled parameter rate-of-change count equipment 62, and it judges whether rate-of-change $**C$ fulfills predetermined conditions. For example, as $**C$, the maximum of the rate of change of the proportional gain which is the controlled parameter of PID-control equipment, integral gain, and a rate gain can be used. Moreover, $**C_{max}$ is beforehand given as the maximum allowed value of rate-of-change $**C$, and it judges whether rate-of-change $**C$ computed this time is larger than maximum allowed value $**C_{max}$. And when judged with $**C > **C_{max}$, it returns to design-parameter decision equipment 60, a multiplier Q is changed until the controlled parameter used as $**C \leq **C_{max}$ is obtained, and a series of controlled parameter count is repeated.

[0030] Thus, if the controlled parameter used as $**C \leq **C_{max}$ is obtained, it will judge whether simulation using a controlled-system model and a new controlled parameter is performed, and it can control by control response judging equipment 63 to stability. When judged with it being controllable to stability, a new controlled parameter is applied to a control unit 2. Moreover, a new controlled parameter is sent and saved in the controlled parameter database 10 shown in drawing 1. When judged with on the other hand it being uncontrollable by the controlled parameter computed this time to stability in control response judging equipment 63, it returns to design-parameter decision equipment 60, and asks for a new controlled parameter by a series of controlled parameter count which changed and mentioned design-parameter Q above again.

[0031] Next, after applying the new controlled parameter for which it asked with controlled parameter decision equipment 9 to a control unit 2, when it judges whether control is carried out to stability based on the controlled variable y and control input u of a controlled system 1 and is controlled by the controllability ability judging equipment 5 shown in drawing 1 by stability, it judges whether the engine performance given with the control specification designating device 6 is filled. And when the engine performance given with this control specification designating device 6 is not being filled, a series of procedures mentioned above until it filled this engine performance are repeated. When a new controlled parameter was applied and the response of a controlled system 1 becomes unstable on the other hand, or when the response beyond control specification is shown, the last controlled parameter is read from the controlled parameter database 10, and it applies to a control unit 2, and is made to return to the original condition.

[0032] As stated above, according to the controlled parameter adjusting device of this operation gestalt, the control state of a feedback system is judged from the input signal (control input) u and output signal (controlled variable) y of a controlled system 1. When the controllability ability of a system has separated greatly from control specification, or when an unstable control response is shown Since it is made to carry out by repeating renewal of the transfer function model of a controlled system, and modification of a controlled parameter and was made to perform precision evaluation of a transfer function model each time at that time until desired controllability ability was obtained When sufficient model precision is acquired, it is possible to omit renewal of a transfer function model and to make only a change of a controlled parameter, and for this reason, the count of the system identification trial accompanying renewal of a transfer function model can be held down to minimum.

[0033] Moreover, since modification of the controlled parameter per time was restricted within the upper limit of controlled parameter rate of change, the gap with the prediction response resulting from the gap with a controlled system 1 and a transfer function model and an actual control response can be

suppressed, and where a feedback system is maintained at stability, a controlled parameter can be adjusted to the optimal value.

[0034] An example, next the example of an operation gestalt mentioned above are explained with reference to drawing 7. This example is related with the model creation and controlled parameter decision at the time of using PID-control equipment as a control device 2, using an ARX model as a transfer function model of a controlled system 1. Here, the strange parameter of an ARX model is called for using the least square method so that an one-step beyond prediction error may be made into min, and the controlled parameter of PID-control equipment is calculated using the frequency model matching technique which makes an optimal regulator a reference model. First, it asks for performance-index [of a degree type (1)] $J(k)$ using controlled-variable $y(t)$ collected by I / O data collection equipment 3, control input $u(t)$, and desired value [of a controlled variable] $r(t)$.

[0035]

[Equation 1]

$$J = \sum_{t=1}^N \left[(y(t) - r(t))^2 + \lambda (u(t))^2 \right] \quad (1)$$

Here, N is the number of data, and a weighting factor to which lambda is given beforehand. At this time, a feedback system can be considered like drawing 7 (a). In drawing 7 (a), a sign 70 is PID-control equipment and a sign 71 shows the model of the disturbance which joins a controlled variable.

[0036] And when the performance index searched for from the data at the time of applying the newly called-for controlled parameter is set to $J(k+1)$, it is determined that it is set to $J(k+1) < J(k)$ by the new controlled parameter. However, since it is incalculable until a controlled parameter can be found and it is applied to a control unit 2, in case a controlled parameter is designed, the direct valuation of the $J(k+1)$ cannot be carried out. Then, three new performance indices with which the triangle inequality of a degree type (2) is filled are evaluated indirectly, and it will ask for a controlled parameter.

$$|JLQ - J_{id} - J_{PI}| \leq |J| \leq |JLQ + J_{id} + J_{PI}| \quad (2)$$

And in an upper type (2), if J_{id} and J_{PI} are made sufficiently small, JLQ becomes equivalent to the performance index of a formula (1), and should just evaluate JLQ. A concrete computational procedure is shown below.

[0037] It asks for the transfer function model which makes min the performance index J_{id} of a degree type (3) from controlled-variable $y(t)$ collected by procedure 1 I / O data collection equipment 3, and control input $u(t)$.

[0038]

[Equation 2]

$$J_{id} = \sum_{t=1}^N \left[(y(t) - y^p(t))^2 + \lambda (u(t) - u^p(t))^2 \right] \quad (3)$$

Here, $y^p(t)$ and $u^p(t)$ are the controlled variables and control inputs to the transfer-function-model \hat{P} for which it asked here. At this time, the feedback system which consists of a model 73 of the PID-control machine 70 and controlled system 1 which are expressed with drawing 7 (c) is considered.

[0039] Moreover, the one-step beyond forecast y_{pr} of a controlled variable is given by the degree type (4).

[0040]

[Equation 3]

$$y_{pr} = \hat{H}^{-1} \hat{P} u(t) + (1 - \hat{H}^{-1}) y(t) \quad (4)$$

Here, \hat{H} is the transfer function model 74 of the disturbance which joins a controlled variable. The one-step beyond prediction error defined by the difference of this y_{pr} and an actual controlled variable is set to $e(t)$. As shown in the degree type (5), when the sum of squares of $D(z)e(t)$ which hung the data filter $D(z)$ on $e(t)$ is set to V, it can ask for the model \hat{P} which makes V min easily with the least square method.

[0041]

[Equation 4]

$$V = \sum_{t=1}^N \left[D(z) e(t) \right]^2 \quad (5)$$

Furthermore, by choosing this data filter $D(z)$ suitably, the performance index J_{id} of a formula (3) and V of a formula (5) can be made into equivalence, and such $D(z)$ is obtained by a degree type (6) and (7).

[0042]

[Equation 5]

$$\begin{cases} D(z) = \frac{G(z)}{1 + \hat{P} K^P} & (6) \\ G(z) G^*(z^{-1}) = 1 + \lambda K^P K^{P*} & (7) \end{cases}$$

Here, K^P is the discrete-time transfer function of PID-control equipment. Since the transfer-function-model \hat{P} for which it asks here is contained in the denominator of $D(z)$, $D(z)$ cannot be calculated beforehand. Then, \hat{P} contained in the denominator of $D(z)$ in order to simplify count is made to use the transfer function model (for it to be defined as the \hat{P} $k-1$.) for which it asked last time.

[0043] $D(z)$ can be chosen as mentioned above and it can ask for the model \hat{P} which makes a formula (3) min by asking for \hat{P} which makes a formula (5) min.

[0044] An optimal regulator is designed using the model for which it asked in the procedure 2, next the above-mentioned procedure 1. This design is designed so that the performance index J_{LQ} of a degree type (8) may serve as min.

[0045]

[Equation 6]

$$J_{LQ} = \sum_{t=1}^N \left[(y^c(t) - r(t))^2 + \lambda (u^c(t))^2 \right] \quad (8)$$

At this time, it designs using the system which consists of the optimal regulator 75 and the controlled-system model 73 which were shown in drawing 9 (b). However, since the gap with the true controlled system 1 is surely included in the model for which it asked in the procedure 1, it is desirable to use the performance index containing frequency weight F_1 and F_2 like a degree type (9).

[0046]

[Equation 7]

$$J_{LQ} = \sum_{t=1}^N \left[F_1 (y^c(t) - r(t))^2 + \lambda F_2 (u^c(t))^2 \right] \quad (9)$$

It is also possible for F_1 and F_2 to be given in a transfer function format, and for a designer to give them beforehand here, and to design a suitable filter using observation data and simulation data. The performance index of an upper type (9) is convertible for the format of a formula (8) by extending the transfer-function-model \hat{P} of a controlled system 1 using filters F_1 and F_2 . Since the performance index J_{LQ} of a formula (8) is equal to the performance index of the usual optimal regulator, it can ask for the optimal regulator which makes J_{LQ} min easily.

[0047] It asks for the controlled parameter of PID-control equipment with a frequency model matching technique by making into a reference model the optimal regulator for which it asked in procedure 3 procedure 2. At this time, it asks for a controlled parameter so that the performance index J_{PI} given by the degree type (10) may be made into min.

[0048]

[Equation 8]

$$J_{PI} = \sum_{t=1}^N \left[(y^p(t) - y^c(t))^2 + \lambda (u^p(t) - u^c(t))^2 \right] \quad (10)$$

Here, uC and yC are a control input when using the transfer function model for which it asked in the procedure 2 as a controlled system, using an optimal regulator as a control device 2, and a controlled variable.

[0049] If the frequency-domain expression of the performance index of an upper type (10) is carried out, it will become like a degree type (11).

[0050]

[Equation 9]

$$J^P I = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\left(\frac{\hat{P} K^P}{1 + \hat{P} K^P} - \frac{\hat{P} K^C}{1 + \hat{P} K^C} \right)^2 + \lambda \left(\frac{K^P}{1 + \hat{P} K^P} - \frac{K^C}{1 + \hat{P} K^C} \right)^2 \right] d\omega \quad (11)$$

Furthermore, the frequency band which performs model matching is set to [w1, w2], and if the transfer function KP of the PID-control equipment contained in the denominator of JPI is transposed to the transfer function (it is defined as Kk-1P.) for which it asked last time, JPI can deform like a degree type (12).

[0051]

[Equation 10]

$$J^P I = \int_{w1}^{w2} \left[\left(\frac{\hat{P} K^P}{1 + \hat{P} K_{k-1}^P} - \frac{\hat{P} K^C}{1 + \hat{P} K^C} \right)^2 + \lambda \left(\frac{K^P}{1 + \hat{P} K_{k-1}^P} - \frac{K^C}{1 + \hat{P} K^C} \right)^2 \right] d\omega \quad (12)$$

It can ask for the controlled parameter which makes JPI min easily with the least square method from the technique of frequency model matching.

[0052] The controlled parameter obtained in procedure 4 procedure 3 is applied to a control unit 2, and the response of a controlled variable y and a control input u is observed. And adjustment will be ended if sufficient response is obtained. On the other hand, if sufficient response is not obtained, it returns to a procedure 1 and adjustment is continued.

[0053]

[Effect of the Invention] Since it was made to perform only renewal of a controlled parameter according to the controlled parameter adjusting device by this invention, without performing renewal of a transfer function model while the transfer function model used now judges whether the property of a controlled system is fully expressed with a controllability ability judging means and is judged in it that the precision of a transfer function model is enough as stated above, the count of operation of the system identification trial which is needed in case a transfer function model is reconstructed can be stopped to the minimum.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram having shown the outline of the controlled parameter adjusting device by the operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] Drawing having shown an example of the display monitor display of the controlled-system supervisory equipment of the controlled parameter adjusting device by the operation gestalt of this

invention.

[Drawing 3] The block diagram having shown the outline of the controllability ability judging equipment of the controlled parameter adjusting device by the operation gestalt of this invention.

[Drawing 4] The block diagram having shown the outline of the model precision judging equipment of the controlled parameter adjusting device by the operation gestalt of this invention.

[Drawing 5] The block diagram having shown the outline of the model listing device of the controlled parameter adjusting device by the operation gestalt of this invention.

[Drawing 6] The block diagram having shown the outline of the controlled parameter decision equipment of the controlled parameter adjusting device by the operation gestalt of this invention.

[Drawing 7] The explanatory view having shown the feedback loop used in the controlled parameter adjusting device by the example of the operation gestalt of this invention.

[Drawing 8] The block diagram having shown the outline of a feedback system.

[Drawing 9] The explanatory view having shown the conventional auto tuning technique.

[Description of Notations]

- 1 Controlled System
- 2 Control Unit
- 3 I / O Data Collection Equipment
- 4 Controlled-System Supervisory Equipment
- 5 Controllability Ability Judging Equipment
- 6 Control Specification Designating Device
- 7 Model Listing Device
- 8 Model Database
- 9 Controlled Parameter Decision Equipment
- 10 Controlled Parameter Database
- 11 Display Monitor
- 30 Control State Judging Equipment
- 31 Model Precision Judging Equipment
- 50 Identification Condition Decision Equipment
- 51 Identification Signal Generation Equipment
- 52 Identification Signal Impression Equipment
- 53 Identification Data Collection and Processing Equipment
- 54 Model Structure Determination Equipment
- 55 Transfer-Function-Model Presumption Equipment
- 60 Design-Parameter Decision Equipment
- 61 Controlled Parameter Count Equipment
- 62 Controlled Parameter Rate-of-Change Count Equipment
- 63 Control Response Judging Equipment

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

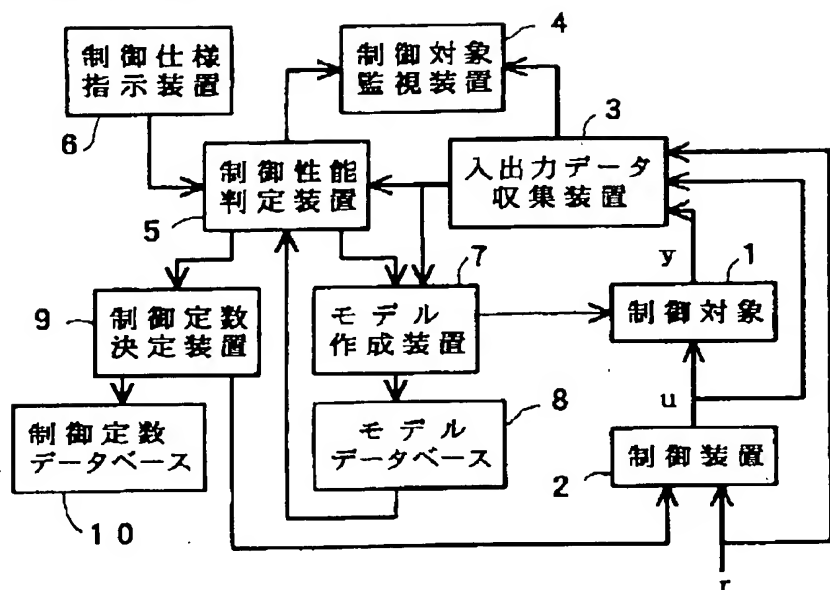
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

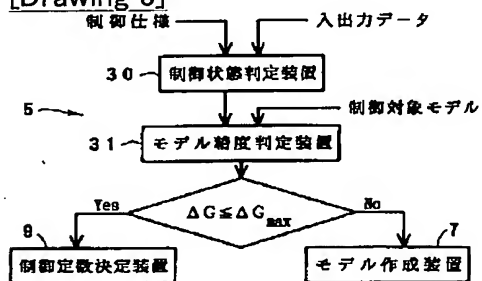
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

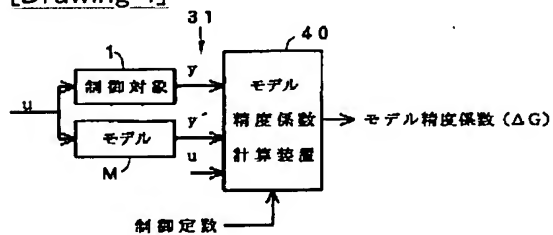
[Drawing 1]



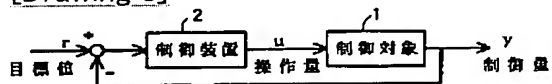
[Drawing 3]



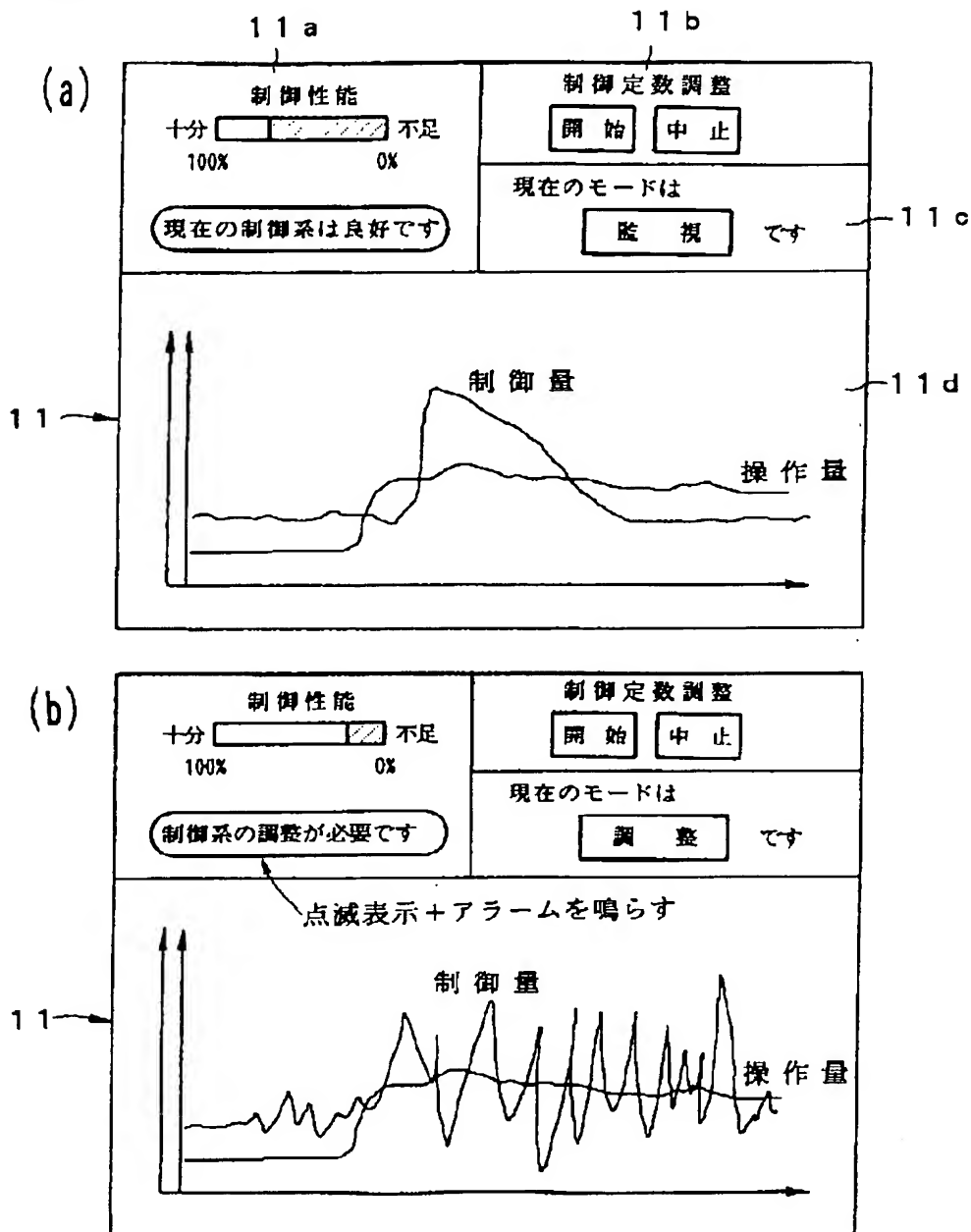
[Drawing 4]



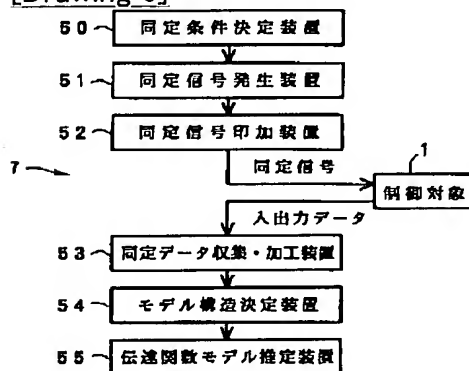
[Drawing 8]



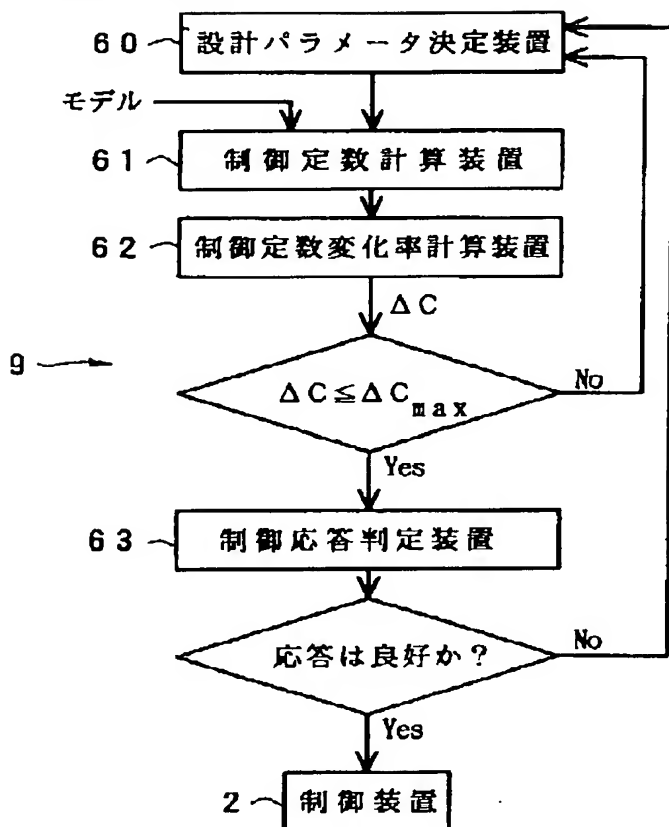
[Drawing 2]



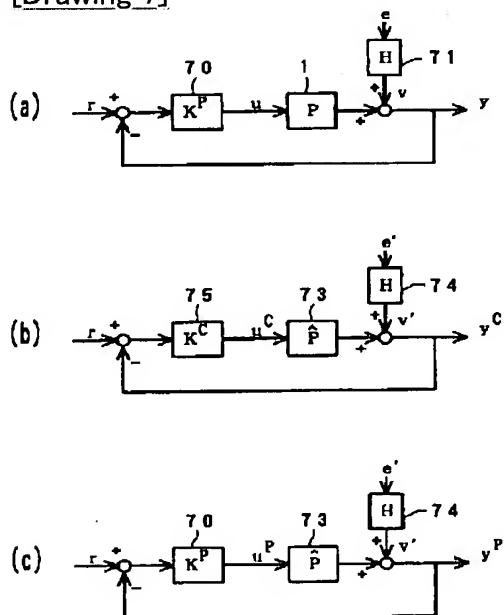
[Drawing 5]



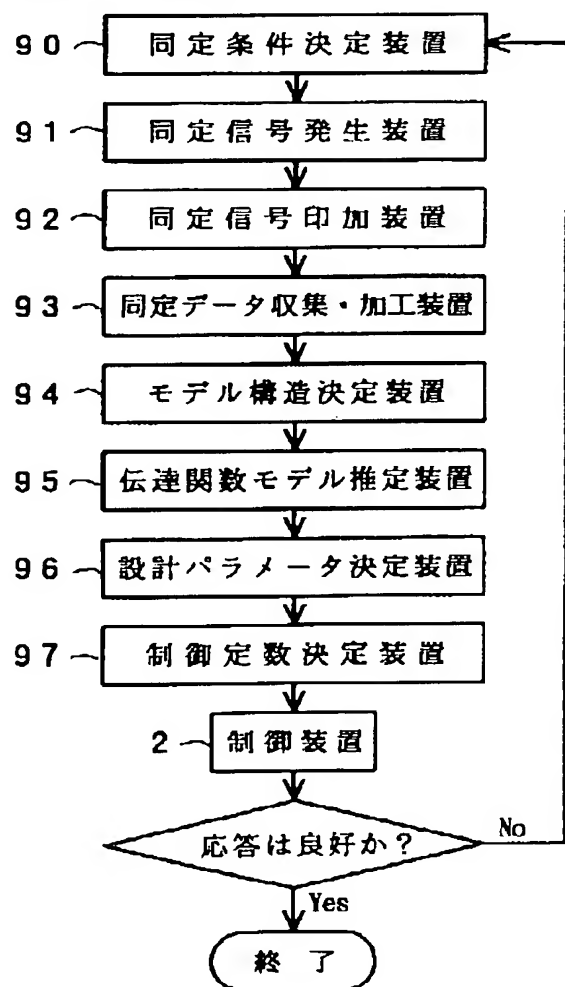
[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Drawing 9]



[Translation done.]

特願 2002-192815 1/2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-91211

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 0 5 B 13/04

G 0 5 B 13/04

13/02

13/02

E

D

23/02

23/02

H

V

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平8-291311

(22) 出願日

平成 8 年(1996) 9 月13日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 行 友 雅 徳

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会
社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 飯 野 稔

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会
社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 西 村 修

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会
社東芝研究開発センター内

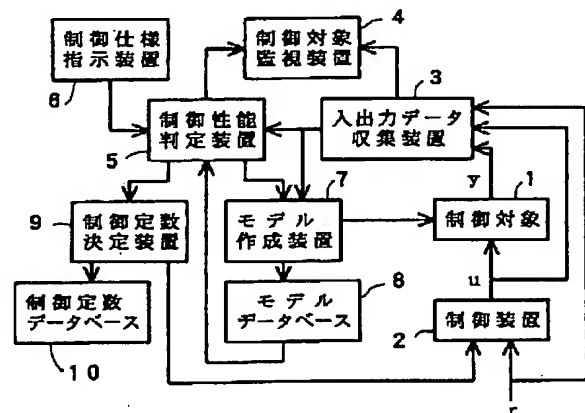
(74) 代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外 3 名)

(54) 【発明の名称】 制御定数調整装置

(57) 【要約】

【課題】 システム同定試験の実施回数を最小限に抑えることができる制御定数調整装置を提供する。

【解決手段】 操作量、制御量を収集する入出力データ収集手段3と、フィードバックシステムの制御性能を判定する制御性能判定手段5と、フィードバックシステムの制御仕様を与える制御仕様指示手段6と、伝達関数モデルを作成するモデル作成手段7と、制御定数を計算する制御定数決定手段9とを備えている。制御性能判定手段5は、伝達関数モデルの精度が所定の基準値を満たしているか否かを判定し、満たしていないと判断した場合にはモデル作成手段7に伝達関数モデルの再構築を指示し、満たしていると判断した場合には制御定数決定手段9に制御定数の変更を行うように指示する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】フィードバックシステムの制御装置の制御定数を調整するための制御定数調整装置において、制御対象の入出力である操作量及び制御量を収集する入出力データ収集手段と、

前記入出力データ収集手段によって収集された前記制御量及び前記操作量に基づいて前記フィードバックシステムの制御性能を判定する制御性能判定手段と、

前記フィードバックシステムの制御仕様を与える制御仕様指示手段と、

前記制御対象の伝達関数モデルを作成するモデル作成手段と、

前記制御装置の制御定数を計算する制御定数決定手段と、を備え、

前記制御性能判定手段は、前記フィードバックシステムの制御性能が前記制御仕様を満たさない場合、前記伝達関数モデルの精度が所定の基準値を満たしているか否かを判定し、前記所定の基準値を満たしていないと判断した場合には前記モデル作成手段に対して前記伝達関数モデルの再構築を指示し、一方、前記所定の基準値を満たしていると判断した場合には前記制御定数決定手段に対して前記制御定数の変更を行うように指示し、前記フィードバックシステムの制御性能が前記制御仕様を満たすようになるまで、前記伝達関数モデルの精度評価、前記伝達関数モデルの再構築又は前記制御定数の変更を繰り返し行うようにしたことを特徴とする制御定数調整装置。

【請求項2】前記制御量及び前記操作量のトレンドデータを表示する制御対象監視手段をさらに有することを特徴とする請求項1記載の制御定数調整装置。

【請求項3】前記制御対象監視手段は、前記制御量及び前記操作量のトレンドデータを表示するトレンドデータ表示部と、前記フィードバックシステムの制御性能を表示する制御性能表示部と、前記制御定数の調整を開始させ又は中止させるスイッチ部と、前記制御定数の調整中における現在の調整モードを表示する調整モード表示部と、を備えたことを特徴とする請求項2記載の制御定数調整装置。

【請求項4】前記制御性能判定手段は、前記伝達関数モデルによって算出された制御量計算値と前記制御対象の出力として得られた前記制御量とを比較して前記伝達関数モデルの精度を判定するモデル精度判定手段を有することを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の制御定数調整装置。

【請求項5】前記モデル作成手段は、前記伝達関数モデルを作成するために前記制御対象に加える同定信号の同定条件を決定する同定条件決定手段と、前記同定信号を発生させる同定信号発生手段と、この同定信号発生手段において発生した前記同定信号を前記制御対象に加える同定信号印加手段と、この同定信号印加手段によって前

記同定信号を前記制御対象に加えたときの前記制御量及び前記操作量を収集し、収集された前記制御量及び前記操作量に対して適当なフィルタリング処理を行って同定データを作成する同定データ収集加工手段と、前記同定データに基づいて前記制御対象の前記伝達関数モデルを決定するために必要なモデルパラメータを決定するモデル構造決定手段と、前記モデルパラメータに基づいて前記伝達関数モデルを決定する伝達関数モデル推定手段と、を備えていることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の制御定数調整装置。

【請求項6】前記モデル作成手段によって決定された前記伝達関数モデルを保存するモデルデータベースをさらに有し、

前記制御性能判定手段は、最新の前記伝達関数モデルのみならず前記モデルデータベースに保存された過去の前記伝達関数モデルも使用して前記伝達関数モデルの精度を評価するようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の制御定数調整装置。

【請求項7】前記制御定数決定手段は、新たな前記制御定数を計算するために必要な設計パラメータの値を決定する設計パラメータ決定手段と、前記設計パラメータを用いて前記制御定数を求める制御定数計算手段と、前回求められた制御定数と今回求められた制御定数との間の変化率を計算し、前記変化率が所定の範囲内にあるか否かを判定する制御定数変化率計算手段と、を備え、前記制御定数変化率計算手段によって前記変化率が前記所定の範囲外にあると判定された場合には前記設計パラメータ決定手段によって前記設計パラメータを変更して所定の制御定数を求めることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれか一項に記載の制御定数調整装置。

【請求項8】前記制御装置に過去に適用された前記制御定数を保存する制御定数データベースをさらに有し、前記制御定数決定手段によって決定した新たな前記制御定数を前記制御装置に適用したにもかかわらず前記フィードバックシステムの制御性能が前記制御仕様を満たさない場合には、前記制御定数データベースに保存された過去の前記制御定数を前記制御装置に適用するようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の制御定数調整装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フィードバックシステムにおける制御装置の制御定数を調整するための繰り返し型の制御定数調整装置に関する。

【0002】

【従来の技術】図8は、各種産業プラントの制御系として使用されているフィードバックシステムの概略構成を示している。このフィードバックシステムにおいて制御対象1の制御量を目標値 r に制御する際には、制御装置2から制御対象1に対して操作量 u を出力し、この操作

量 u に対する制御装置2の出力である制御量 y を測定する。そして、測定された制御量 y をフィードバックして目標値 r と比較し、再び制御装置2から制御対象1に対して新たな操作量 u を出力する。

【0003】フィードバックシステムにおける制御装置の制御定数は、プラントを最適に運転するために最適な値に予め決定してある。しかし、プラントの特性変化により最適な運転状態から逸脱することがある。そのため、運転員がプラントの運転状態を常時監視し、最適な運転状態から逸脱した場合には制御定数の再調整を行う必要がある。この制御定数の再調整においては、運転員が手動で制御定数を変更する方法、若しくは、オートチューニングツールを使用して制御定数を変更する方法がとられる。

【0004】従来のオートチューニングツールは図9に示したような処理手順によって制御定数を変更するものである。まず、同定条件決定装置90によって同定信号を発生させる上で必要な信号の種類等を決定する。次に、同定条件決定装置90で決定された条件に基づいて同定信号発生装置91によって実際の同定信号が計算され、同定信号印加装置92により指定された印加箇所に同定信号が印加される。そして、同定データ収集・加工装置93によって、同定信号が印加されている間の制御対象1の制御量 y 及び操作量 u の時系列データ y 、 u を収集する。次に、モデル構造決定装置94によって、伝達関数モデルの構造等のパラメータを決定する。モデル構造決定装置94で決定されたモデル構造等のパラメータ及び時系列データ y 、 u を用いて、伝達関数モデル推定装置95によって伝達関数モデルを決定する。次に、設計パラメータ決定装置96によって設計パラメータを決定し、制御定数決定装置97によって新たな制御定数を決定する。そして、新たな制御定数を制御装置に適用してプラントの運転状態を観測し、最適な運転状態が得られるまで上記手順を繰り返し行うというのが従来のオートチューニング手法である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上述した従来のオートチューニングツールにおいて実施されるシステム同定試験は、制御対象に対して同定信号と呼ばれる外乱信号を加えるものであるため、プラント運転に悪影響を与えてしまい、生産されている製品品質の劣化等を招いてしまうという問題がある。しかも、従来のオートチューニングツールでは、調整の度にシステム同定試験を行うので、最適な制御定数が求まるまでに多数回の同定試験を行う必要がある。また、従来の手法では、得られた伝達関数モデルに基づいて最適な制御定数の設計を行うが、実際には伝達関数モデルと制御対象との間には必ずずれが存在する。そのため、求めた制御定数を制御装置に適用した時の応答が、事前に伝達関数モデルを用いて予測した応答と大きく異なり、場合によってはフィ

ードバックシステムを不安定にしてしまうことがある。

【0006】そこで、本発明は、上述した種々の問題点を解消し、システム同定試験の実施回数を最小限に抑えることができる制御定数調整装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明による制御定数調整装置は、フィードバックシステムの制御装置の制御定数を調整するための制御定数調整装置において、制御対象の入出力である操作量及び制御量を収集する入出力データ収集手段と、前記入出力データ収集手段によって収集された前記制御量及び前記操作量に基づいて前記フィードバックシステムの制御性能を判定する制御性能判定手段と、前記フィードバックシステムの制御仕様を与える制御仕様指示手段と、前記制御対象の伝達関数モデルを作成するモデル作成手段と、前記制御装置の制御定数を計算する制御定数決定手段と、を備え、前記制御性能判定手段は、前記フィードバックシステムの制御性能が前記制御仕様を満たさない場合、前記伝達関数モデルの精度が所定の基準値を満たしているか否かを判定し、前記所定の基準値を満たしていないと判断した場合には前記モデル作成手段に対して前記伝達関数モデルの再構築を指示し、一方、前記所定の基準値を満たしていると判断した場合には前記制御定数決定手段に対して前記制御定数の変更を行うように指示し、前記フィードバックシステムの制御性能が前記制御仕様を満たすようになるまで、前記伝達関数モデルの精度評価、前記伝達関数モデルの再構築又は前記制御定数の変更を繰り返し行うようにしたことを特徴とする。

【0008】請求項2記載の発明による制御定数調整装置は、前記制御量及び前記操作量のトレンドデータを表示する制御対象監視手段をさらに有することを特徴とする。

【0009】請求項3記載の発明による制御定数調整装置は、前記制御対象監視手段は、前記制御量及び前記操作量のトレンドデータを表示するトレンドデータ表示部と、前記フィードバックシステムの制御性能を表示する制御性能表示部と、前記制御定数の調整を開始させ又は中止させるスイッチ部と、前記制御定数の調整中における現在の調整モードを表示する調整モード表示部と、を備えたことを特徴とする。

【0010】請求項4記載の発明による制御定数調整装置は、前記制御性能判定手段は、前記伝達関数モデルによって算出された制御量計算値と前記制御対象の出力として得られた前記制御量とを比較して前記伝達関数モデルの精度を判定するモデル精度判定手段を有することを特徴とする。

【0011】請求項5記載の発明による制御定数調整装置は、前記モデル作成手段は、前記伝達関数モデルを作成するために前記制御対象に加える同定信号の同定条件

を決定する同定条件決定手段と、前記同定信号を発生させる同定信号発生手段と、この同定信号発生手段において発生した前記同定信号を前記制御対象に加える同定信号印加手段と、この同定信号印加手段によって前記同定信号を前記制御対象に加えたときの前記制御量及び前記操作量を収集し、収集された前記制御量及び前記操作量に対して適当なフィルタリング処理を行って同定データを作成する同定データ収集加工手段と、前記同定データに基づいて前記制御対象の前記伝達関数モデルを決定するために必要なモデルパラメータを決定するモデル構造決定手段と、前記モデルパラメータに基づいて前記伝達関数モデルを決定する伝達関数モデル推定手段と、を備えていることを特徴とする。

【0012】請求項6記載の発明による制御定数調整装置は、前記モデル作成手段によって決定された前記伝達関数モデルを保存するモデルデータベースをさらに有し、前記制御性能判定手段は、最新の前記伝達関数モデルのみならず前記モデルデータベースに保存された過去の前記伝達関数モデルも使用して前記伝達関数モデルの精度を評価するようにしたことを特徴とする。

【0013】請求項7記載の発明による制御定数調整装置は、前記制御定数決定手段は、新たな前記制御定数を計算するために必要な設計パラメータの値を決定する設計パラメータ決定手段と、前記設計パラメータを用いて前記制御定数を求める制御定数計算手段と、前回求められた制御定数と今回求められた制御定数との間の変化率を計算し、前記変化率が所定の範囲内にあるか否かを判定する制御定数変化率計算手段と、を備え、前記制御定数変化率計算手段によって前記変化率が前記所定の範囲外にあると判定された場合には前記設計パラメータ決定手段によって前記設計パラメータを変更して所定の制御定数を求めることを特徴とする。

【0014】請求項8記載の発明による制御定数調整装置は、前記制御装置に過去に適用された前記制御定数を保存する制御定数データベースをさらに有し、前記制御定数決定手段によって決定した新たな前記制御定数を前記制御装置に適用したにもかかわらず前記フィードバックシステムの制御性能が前記制御仕様を満たさない場合には、前記制御定数データベースに保存された過去の前記制御定数を前記制御装置に適用するようにしたことを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態による繰り返し型の制御定数調整装置について図1乃至図6を参照して説明する。図1は、本実施形態による制御定数調整装置の概略構成を示しており、制御対象1には、この制御対象1を制御するための制御装置2が接続されている。また、図1において符号 r は制御対象1の目標値を示し、符号 y は制御対象1の出力である制御量を示し、符号 u は制御装置2の出力である操作量を示している。

これらの目標値 r 、制御量 y 、操作量 u は信号ラインを介して入出力データ収集装置3に送られ、ある観測周期ごとに時系列データが入力されて保存される。入出力データ収集装置3に保存されたデータは、観測周期ごとに制御対象監視装置4に入力されると共に制御性能判定装置5に送られる。

【0016】制御性能判定装置5は、入出力データ収集装置3から送られた各観測データ（入出力データ）、及び制御仕様指示装置6から与えられる制御仕様に基づいて、フィードバックシステムの制御性能が制御仕様を満たしているか否かを判断する。さらに、制御性能判定装置5は、フィードバックシステムの制御性能が制御仕様を満たさない場合、現在使用されている伝達関数モデルの精度が所定の基準値を満たしているか否かを判定する。そして、伝達関数モデルの精度が所定の基準値を満たしていないと判断した場合にはモデル作成装置7に対して伝達関数モデルの再構築を指示し、一方、伝達関数モデルの精度が所定の基準値を満たしていると判断した場合には、伝達関数モデルの再構築を行うことなく、制御定数決定装置9に対して制御定数の変更を行うように指示する。

【0017】また、モデル作成装置7で得られた伝達関数モデルはモデルデータベース8に保存され、制御定数決定装置9で得られた制御定数は制御定数データベース10に保存される。

【0018】図2(a)、(b)は、制御対象監視装置4の表示モニタ11の画面の一例を示しており、(a)は制御系の制御状態が良好な場合を示しており、(b)は制御系の制御状態が良くない場合を示している。そして、制御対象監視装置4に入力された制御量、操作量等の各量は、表示モニタ11のトレンドデータ表示ウィンドウ11dに表示される。さらに、制御対象監視装置4の表示モニタ11は、制御性能表示ウィンドウ11a、調整開始/終了ボタン11b、調整モード表示ウィンドウ11cを有している。制御性能表示ウィンドウ11aには、図1に示した制御性能判定装置5から得られた現在の制御性能をグラフィカルに表示し、制御系の制御状態が良好であるか（図2(a)参照）、調整が必要であるか（図2(b)参照）のメッセージを表示する。調整が必要な場合は、メッセージを点滅表示すると共にアラームを鳴らして運転員に対して調整が必要であることを知らせる。そして、運転員が制御定数の調整を行うと判断した場合には、調整開始ボタン/終了ボタン11bの開始ボタンを押すことによって調整が開始される。なお、調整を途中で中止させたい場合には終了ボタンを押すことによって調整を中止させることができる。また、調整モード表示ウィンドウ11cには、単に制御量 y 及び操作量 u のトレンドデータを表示するのみの「監視モード」であるか（図2(a)参照）、それとも、制御定数の調整を行っている「調整モード」であるか（図2

(b) 参照) をメッセージ表示する。さらに、調整モードの場合には、調整モード表示ウインドウ11cに、モデル作成を行っている場合は「モデル作成中」と、また、制御定数を決定している場合は「制御定数決定中」とメッセージを表示し、調整モードにおけるどの段階の処理が現在行われているかが運転員に分かるようにする。

【0019】図3は、制御性能判定装置5の概略構成を示しており、この制御性能判定装置5は制御状態判定装置30を備えている。この制御状態判定装置30には、10 入出力データ収集装置3から送られた各観測データ(入出力データ)、及び制御仕様指示装置6で与えられる制御仕様が入力される。ここで、制御仕様は、例えば制御量の目標値が変更されたときの目標値に到達するまでの整定時間や外乱が加わったときにその影響が除去されるまでの時間等で与えられる。さらに、制御仕様はある幅を持った値で与えられ、この幅の中にある間は制御が良好に行われていると判断される。

【0020】制御状態判定装置30は、各観測データ(入出力データ)及び制御仕様に基づいて、現在のフィードバックループシステムがどの程度制御仕様を満たしているかを判定し、その結果を図2に示した制御対象監視装置4の表示モニタ11上に表示する。そして、制御仕様から大きく逸脱した場合は、その旨を表示モニタ11上の表示やアラームにより運転員に知らせ、制御定数の調整を開始するように促す。そして、運転員が制御定数の調整を指示した場合には、以下の手順によって制御定数の調整を行う。

【0021】まず、モデルデータベース8に保存されている制御対象1の伝達関数モデル(制御対象モデル)を図3に示したモデル精度判定装置31に送り、この伝達関数モデルが現在の制御対象1の応答を十分に表しているか否かを判定する。具体的には、制御対象1の入出力データ、現在の制御装置2の制御定数、制御対象1の伝達関数モデルを用いて、モデル精度係数計算装置40によってモデル精度係数 ΔG を計算する。この ΔG の計算には、同じ入力を加えたときの制御対象1の出力応答と伝達関数モデルの出力応答の過渡応答との差や、周波数解析から得られた周波数応答との差等を用いることができる。例えば、図4に示したモデル精度判定装置31を用いて、制御対象1の入力(操作量) u を伝達関数モデル M に加えたときの出力応答(制御量計算値)を y' としたとき、この出力応答 y' と制御量 y との差の二乗ノルム $\Delta G = \|F(y - y')\|^2$ を求める。ここで、 F は適当なデータフィルタであり、一般にローパスフィルタが使用される。

【0022】そして、図3に示したように、二乗ノルム ΔG の最大許容値を ΔG_{\dots} とすると、 $\Delta G \leq \Delta G_{\dots}$ ならば伝達関数モデルの精度は十分であると判定し、システム同定試験や伝達関数モデルの再構築を行うことな

く、この伝達関数モデルを用いて制御定数の調整を行う。一方、 $\Delta G > \Delta G_{\dots}$ となった場合には、伝達関数モデルの精度が不十分であるとして、 $\Delta G \leq \Delta G_{\dots}$ を満たす伝達関数モデルをモデル作成装置7によって再構築する。

【0023】図5は、モデル作成装置7の概略構成を示しており、まず、同定条件決定装置50によって同定信号を発生させる上で必要な信号の種類、信号の大きさ、信号の印加時間、印加箇所等を決定する。信号の種類には、ステップ状信号、矩形波状信号、M系列信号、ランダム信号等がある。また、信号の印加箇所は、制御対象1の操作量 u 、目標値 r 等がある。次に、同定条件決定装置50で決定された条件に基づいて同定信号発生装置51によって実際の同定信号が計算され、同定信号印加装置52により指定された印加箇所に同定信号が印加される。

【0024】そして、同定データ収集加工装置53によって、同定信号が印加されている間の制御対象1の制御量 y 及び操作量 u の時系列データ y, u を収集し、収集されたデータに対して前処理フィルタ F_p を用いてフィルタリング処理を行う。この前処理フィルタ F_p は適当なデータフィルタであり、例えば、モデル精度評価で用いたデータフィルタ F と同程度の通過帯域を持ったローパスフィルタを用いることができる。フィルタリング処理を行った後の制御量 y 及び操作量 u の時系列データを y_r, u_r とする。

【0025】次に、モデル構造決定装置54によって、伝達関数モデルの構造、モデルの次数、むだ時間の長さ等のモデル決定に必要なパラメータを決定する。ここで、伝達関数の構造には、ARXモデルやARMAXモデル構造を使用することができる。モデル構造決定装置54で決定されたモデル構造等のパラメータ及び時系列データ y_r, u_r を用いて、伝達関数モデル推定装置55によって伝達関数モデルを決定する。

【0026】決定された伝達関数モデルは図1に示したモデルデータベース8に保存され、制御性能判定装置5によって $\Delta G \leq \Delta G_{\dots}$ を満たしているか否かが判定される。そして、決定した伝達関数モデルが $\Delta G \leq \Delta G_{\dots}$ を満たしていない場合には、モデル構造決定装置54における各パラメータを変更し、条件を満たす伝達関数モデルを作成する。パラメータを変更しても条件を満たす伝達関数モデルを作成することができない場合には、同定条件決定装置50における同定条件を変更し、システム同定試験からやり直す。そして、上記の条件を満たす伝達関数モデルが得られるまで上述した手順を繰り返し、伝達関数モデルの再構築を行う。 $\Delta G \leq \Delta G_{\dots}$ を満たす伝達関数モデルが得られた場合には、図1に示した制御定数決定装置9によって制御仕様を満たすような所定の範囲内の新しい制御定数を決定する。

【0027】図6は制御定数決定装置9の概略構成を示

しており、以下では図6を参照して制御定数の決定手順について説明する。なお、図1に示した制御装置2には、PID制御装置、最適レギュレータ、 H_{∞} 制御装置等の各種制御装置が使用可能であるが、以下ではPID制御装置を例として説明する。また、PID制御装置の制御定数の代表的決定方法には、限界感度法、Ziegler and Nichols法、閉ループ応答に対する部分的モデルマッチング法や周波数モデルマッチング法などがある。ここでは、例として周波数重み付き最適レギュレータを規範モデルとした周波数モデルマッチング法を用いて説明する。

【0028】最適レギュレータの周波数重みに関しては適当な伝達関数を与えればよいが、例えば、モデルの再構築に使用した前処理フィルタと同程度の通過帯域を持つ2次遅れ系の伝達関数の逆システムを用いることで実現できる。また、最適レギュレータを設計するための評価関数の重み係数をQとすると、この係数Qが最適レギュレータを設計するための設計パラメータになる。この係数Qを図6に示した設計パラメータ決定装置60によって決定する。

【0029】次に、設計パラメータ決定装置60で決定された設計パラメータ及び制御対象の伝達関数モデルを用いて、制御定数計算装置61によってPID制御装置の制御定数を決定する。そして、制御定数計算装置61で今回算出された制御定数と現在の制御定数との変化率 ΔC を制御定数変化率計算装置62によって計算し、変化率 ΔC が所定の条件を満たしているか否かを判断する。例えば ΔC としては、PID制御装置の制御定数である比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲインの変化率の最大値を利用することができる。また、変化率 ΔC の最大許容値として予め ΔC_{max} が与えられており、今回算出された変化率 ΔC が最大許容値 ΔC_{max} よりも大きいかなんかを判定する。そして、 $\Delta C > \Delta C_{max}$ と判定された場合には設計パラメータ決定装置60に戻って、 $\Delta C \leq \Delta C_{max}$ となる制御定数が得られるまで係数Qを変更し、一連の制御定数計算を繰り返す。

【0030】このようにして $\Delta C \leq \Delta C_{max}$ となる制御定数が得られたならば、制御応答判定装置63によって、制御対象モデル及び新しい制御定数を用いたシミュレーションを行い、安定に制御できるか否かを判定する。安定に制御できると判定された場合には、新しい制御定数を制御装置2に適用する。また、新しい制御定数は図1に示した制御定数データベース10に送られて保存される。一方、制御応答判定装置63において、今回算出された制御定数では安定に制御できないと判定された場合には、設計パラメータ決定装置60に戻って再度設計パラメータQを変更し、上述した一連の制御定数計算によって新たな制御定数を求める。

【0031】次に、制御定数決定装置9で求めた新しい制御定数を制御装置2に適用した後、図1に示した制御性能判定装置5によって、制御対象1の制御量 y 及び操作量 u に基づいて制御が安定に行われているか否かを判断し、安定に制御されている場合には制御仕様指示装置6で与えられた性能を満たしているか否かを判断する。そして、この制御仕様指示装置6で与えられた性能を満たしていない場合には、この性能を満たすまで上述した一連の手順を繰り返す。一方、新しい制御定数を適用したところ、制御対象1の応答が不安定になった場合、或いは制御仕様を超えた応答を示した場合には、制御定数データベース10から前回の制御定数を読み込んで制御装置2に適用し、元の状態に復帰させる。

【0032】以上述べたように本実施形態の制御定数調整装置によれば、制御対象1の入力信号（操作量） u 及び出力信号（制御量） y からフィードバックシステムの制御状態を判定し、システムの制御性能が制御仕様から大きくはずれてしまった場合や、不安定な制御応答を示した場合には、所望の制御性能が得られるまで制御対象の伝達関数モデルの更新と制御定数の変更を繰り返し行うようにし、その際、毎回伝達関数モデルの精度評価を行うようにしたので、十分なモデル精度が得られている場合には伝達関数モデルの更新を省略して制御定数の変更のみを行うことが可能であり、このため、伝達関数モデルの更新に伴うシステム同定試験の回数を最低限に抑えることができる。

【0033】また、一回あたりの制御定数の変更は、制御定数変化率の上限值以内に制限するようにしたので、制御対象1と伝達関数モデルとのずれに起因する予測応答と実際の制御応答とのずれを抑え、フィードバックシステムを安定に保った状態で制御定数を最適な値に調整することができる。

【0034】実施例

次に、上述した実施形態の実施例について図7を参照して説明する。本実施例は、制御対象1の伝達関数モデルとしてARXモデルを用い、制御装置2としてPID制御装置を用いた場合のモデル作成及び制御定数決定に関するものである。ここで、ARXモデルの未知のパラメータは1段先予測誤差を最小にするように最小二乗法を用いて求められ、PID制御装置の制御定数は、最適レギュレータを規範モデルとする周波数モデルマッチング法を用いて計算する。まず、入出力データ収集装置3により集められた制御量 $y(t)$ 、操作量 $u(t)$ 、制御量の目標値 $r(t)$ を用いて次式(1)の評価関数 $J(k)$ を求める。

【0035】

【数1】

$$J = \sum_{t=1}^N \left[(y(t) - r(t))^2 + \lambda (u(t))^2 \right] \quad (1)$$

ここで、Nはデータ数、λは予め与えられている重み係数である。このとき、フィードバックシステムは図7(a)のように考えることができる。図7(a)において符号70はPID制御装置であり、符号71は制御量に加わる外乱のモデルを示す。

【0036】そして、新たに求められた制御定数を適用した場合のデータから求められる評価関数をJ(k+1)と

$$|J^{1d} - J^{1d} - J^{1d}| \leq |J| \leq |J^{1d} + J^{1d} + J^{1d}| \quad (2)$$

そして、上式(2)において、J^{1d}及びJ^{1d}が十分小さくできればJ^{1d}は式(1)の評価関数と等価となり、J^{1d}を評価すれば良いことになる。具体的計算手順を以下に示す。

【0037】手順1

$$J^{1d} = \sum_{t=1}^N \left[(y(t) - y^p(t))^2 + \lambda (u(t) - u^p(t))^2 \right] \quad (3)$$

ここで、y^p(t)、u^p(t)は、ここで求めた伝達関数モデルPハットに対する制御量及び操作量である。このとき、図7(c)で表されるPID制御器70と制御対象1のモデル73からなるフィードバックシステムを考えている。

$$y_{PI} = \hat{H}^{-1} \hat{P} u(t) + (1 - \hat{H}^{-1}) y(t) \quad (4)$$

ここで、Hハットは制御量に加わる外乱の伝達関数モデル74である。このy_{PI}と実際の制御量との差で定義される1段先予測誤差をe(t)とする。次式(5)に示したようにe(t)にデータフィルタD(z)を掛けたD(z)e(t)の二乗和をVとした時、Vを最小にする☆

$$V = \sum_{t=1}^N \left[D(z) e(t) \right]^2 \quad (5)$$

さらに、このデータフィルタD(z)を適当に選ぶことにより、式(3)の評価関数J^{1d}と式(5)のVとを等価にすることができ、そのようなD(z)は次式

$$\left\{ \begin{aligned} D(z) &= \frac{G(z)}{1 + \hat{P} K^P} \\ G(z) G^*(z^{-1}) &= 1 + \lambda K^P K^{P*} \end{aligned} \right. \quad (6)$$

ここで、K^PはPID制御装置の離散時間伝達関数である。ここで求める伝達関数モデルPハットがD(z)の分母に含まれているため、D(z)を予め求めておくことができない。そこで、計算を簡単にするためにD(z)の分母に含まれているPハットは、前回求めた伝達関数モデル(Pハット_{k-1}と定義する。)を用いることにする。

※1)としたとき、J(k+1) < J(k)となるように新たな制御定数を決定する。ただし、J(k+1)は、制御定数が求まり、制御装置2に適用されるまで計算することはできないので、制御定数を設計する際に直接評価することはできない。そこで、次式(2)の三角不等式を満たす3つの新たな評価関数を間接的に評価し、制御定数を求めることにする。

※ 入出力データ収集装置3により集められた制御量y(t)及び操作量u(t)から次式(3)の評価関数J^{1d}を最小にする伝達関数モデルを求める。

【0038】

※ 【数2】

20★【0039】また、制御量の1段先予測値y_{PI}は次式(4)で与えられる。

【0040】

【数3】

☆モデルPハットは最小二乗法により簡単に求めることができる。

【0041】

30 【数4】

◆ (6)、(7)によって得られる。

【0042】

◆ 【数5】

【0043】上記のようにD(z)を選び、式(5)を最小にするPハットを求めることで、式(3)を最小にするモデルPハットを求めることができる。

【0044】手順2

次に、上記手順1で求めたモデルを用い、最適レギュレータの設計を行う。この設計は次式(8)の評価関数J^{1d}が最小となるように設計する。

【0045】

* * 【数6】

$$J^{LQ} = \sum_{t=1}^N \left[(y^c(t) - r(t))^2 + \lambda (u^c(t))^2 \right] \quad (8)$$

このとき、図9(b)に示した最適レギュレータ75及び制御対象モデル73からなるシステムを用いて設計を行う。但し、手順1で求めたモデルには真の制御対象1とのずれが必ず含まれるため、次式(9)のような周波数

※数重み F_1 、 F_2 を含んだ評価関数を用いることが好ましい。

【0046】

【数7】

$$J^{LQ} = \sum_{t=1}^N \left[F_1 (y^c(t) - r(t))^2 + \lambda F_2 (u^c(t))^2 \right] \quad (9)$$

ここで、 F_1 、 F_2 は伝達関数形式で与えられ、予め設計者が与えても良いし、観測データとシミュレーションデータを使用して適当なフィルタを設計することも可能である。上式(9)の評価関数は、制御対象1の伝達関数モデルPハットをフィルタ F_1 、 F_2 を用いて拡張することにより、式(8)の形式に変換することができる。式(8)の評価関数 J^{LQ} は通常の最適レギュレータの評価関数と等しいので、 J^{LQ} を最小にする最適レギュレータ★

★は簡単に求めることができる。

【0047】手順3

手順2で求めた最適レギュレータを規範モデルとして、周波数モデルマッチング法によりPID制御装置の制御定数を求める。このとき、次式(10)で与えられる評価関数 J^{PI} を最小にするように制御定数を求める。

【0048】

【数8】

$$J^{PI} = \sum_{t=1}^N \left[(y^p(t) - y^c(t))^2 + \lambda (u^p(t) - u^c(t))^2 \right] \quad (10)$$

ここで、 u^c 、 y^c は、制御装置2として最適レギュレータを用い、制御対象として手順2で求めた伝達関数モデルを用いたときの操作量、制御量である。

☆すると次式(11)のようになる。

【0050】

【数9】

【0049】上式(10)の評価関数を周波数領域表現☆

$$J^{PI} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\left(\frac{\hat{P}K^p}{1+\hat{P}K^p} - \frac{\hat{P}K^c}{1+\hat{P}K^c} \right)^2 + \lambda \left(\frac{K^p}{1+\hat{P}K^p} - \frac{K^c}{1+\hat{P}K^c} \right)^2 \right] d\omega \quad (11)$$

さらに、モデルマッチングを行う周波数帯域を $[w1, w2]$ とし、 J^{PI} の分母に含まれるPID制御装置の伝達関数 K^p を前回求めた伝達関数(K_{t-1}^p と定義する。)に置き換えると J^{PI} は次式(12)のように変形◆

◆できる。

【0051】

【数10】

$$J^{PI} = \int_{w1}^{w2} \left[\left(\frac{\hat{P}K^p}{1+\hat{P}K_{t-1}^p} - \frac{\hat{P}K^c}{1+\hat{P}K^c} \right)^2 + \lambda \left(\frac{K^p}{1+\hat{P}K_{t-1}^p} - \frac{K^c}{1+\hat{P}K^c} \right)^2 \right] d\omega \quad (12)$$

J^{PI} を最小にする制御定数は、周波数モデルマッチングの手法から最小二乗法により簡単に求めることができる。

【0052】手順4

手順3で得られた制御定数を制御装置2に適用し、制御量 y 及び操作量 u の応答を観測する。そして、十分な応答が得られていれば調整を終了する。一方、十分な応答が得られていなければ、手順1に戻って調整を続ける。

【0053】

【発明の効果】以上述べたように本発明による制御定数調整装置によれば、現在使用されている伝達関数モデルが制御対象の特性を十分に表しているか否かを制御性能判定手段によって判定し、伝達関数モデルの精度が十分だと判断される間は伝達関数モデルの更新は行わずに制御定数の更新のみを行うようにしたので、伝達関数モデルの再構築を行う際に必要となるシステム同定試験の実施回数を最小限に抑えることができる。

50 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態による制御定数調整装置の概略を示した構成図。

【図2】本発明の実施形態による制御定数調整装置の制御対象監視装置の表示モニタ画面の一例を示した図。

【図3】本発明の実施形態による制御定数調整装置の制御性能判定装置の概略を示した構成図。

【図4】本発明の実施形態による制御定数調整装置のモデル精度判定装置の概略を示した構成図。

【図5】本発明の実施形態による制御定数調整装置のモデル作成装置の概略を示した構成図。

【図6】本発明の実施形態による制御定数調整装置の制御定数決定装置の概略を示した構成図。

【図7】本発明の実施形態の実施例による制御定数調整装置において使用されるフィードバックループを示した説明図。

【図8】フィードバックシステムの概略を示した構成図。

【図9】従来のオートチューニング手法を示した説明図。

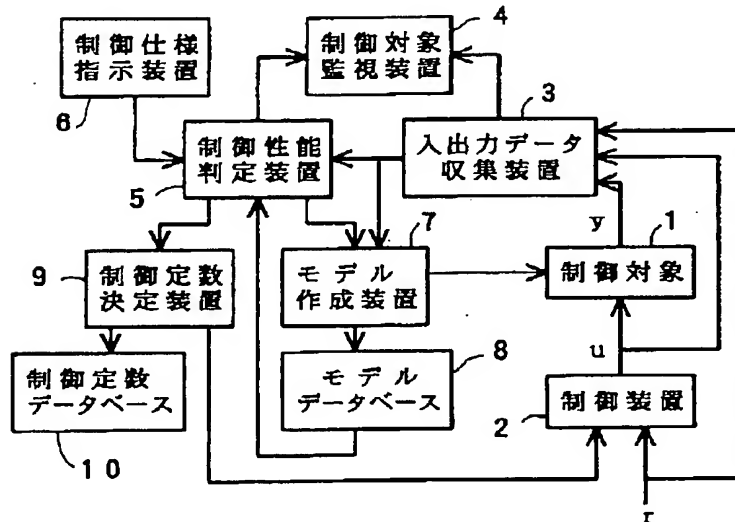
【符号の説明】

- 1 制御対象
2 制御装置

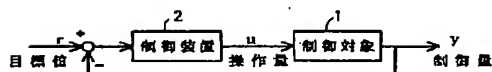
- * 3 入出力データ収集装置
4 制御対象監視装置
5 制御性能判定装置
6 制御仕様指示装置
7 モデル作成装置
8 モデルデータベース
9 制御定数決定装置
10 制御定数データベース
11 表示モニタ
10 30 制御状態判定装置
31 モデル精度判定装置
50 同定条件決定装置
51 同定信号発生装置
52 同定信号印加装置
53 同定データ収集・加工装置
54 モデル構造決定装置
55 伝達関数モデル推定装置
60 設計パラメータ決定装置
61 制御定数計算装置
62 制御定数変化率計算装置
63 制御応答判定装置

*

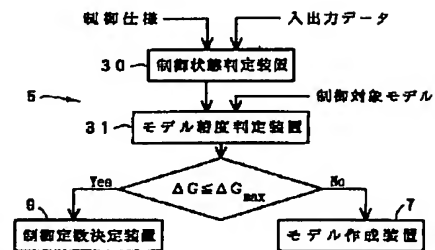
【図1】



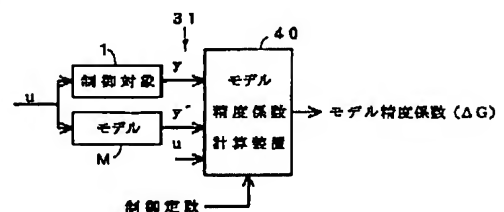
【図8】



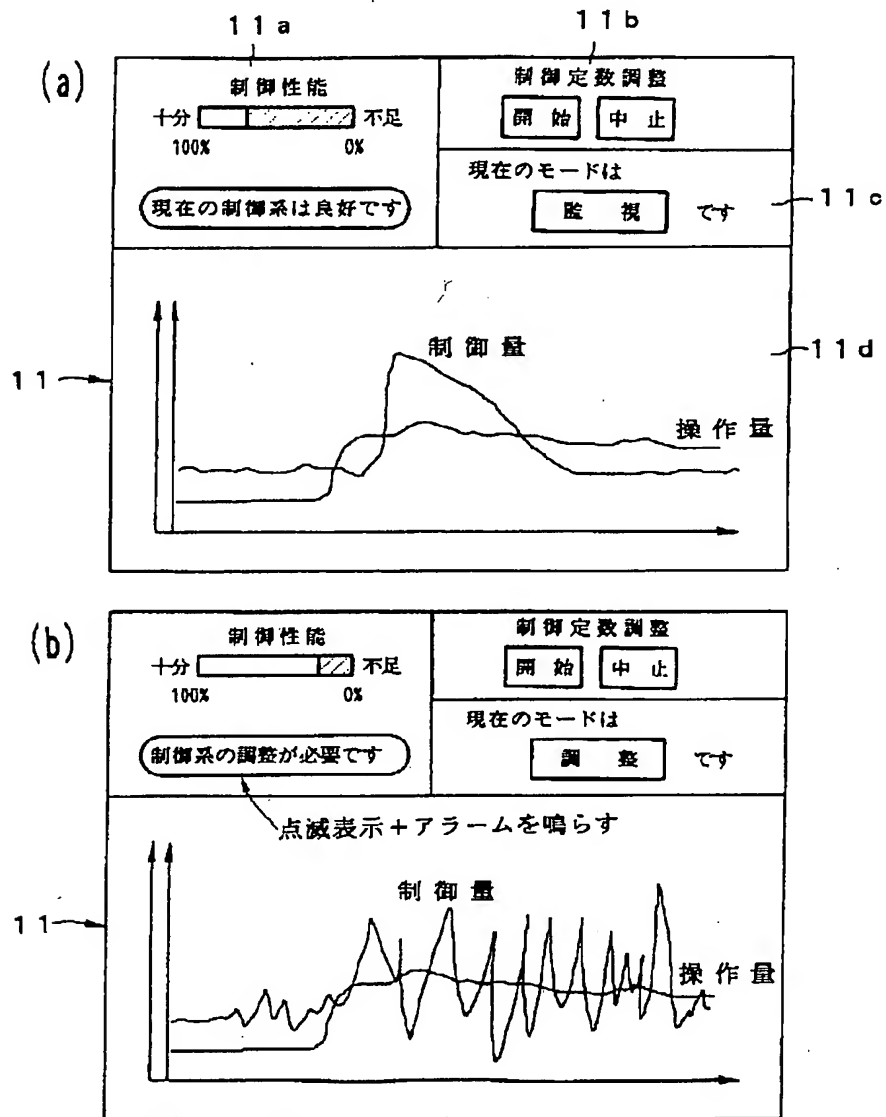
【図3】



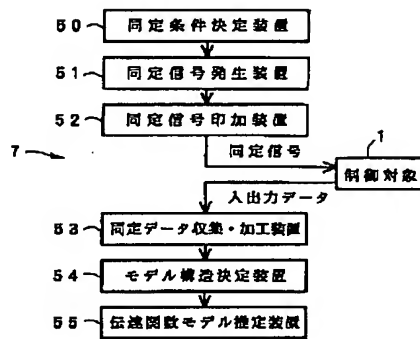
【図4】



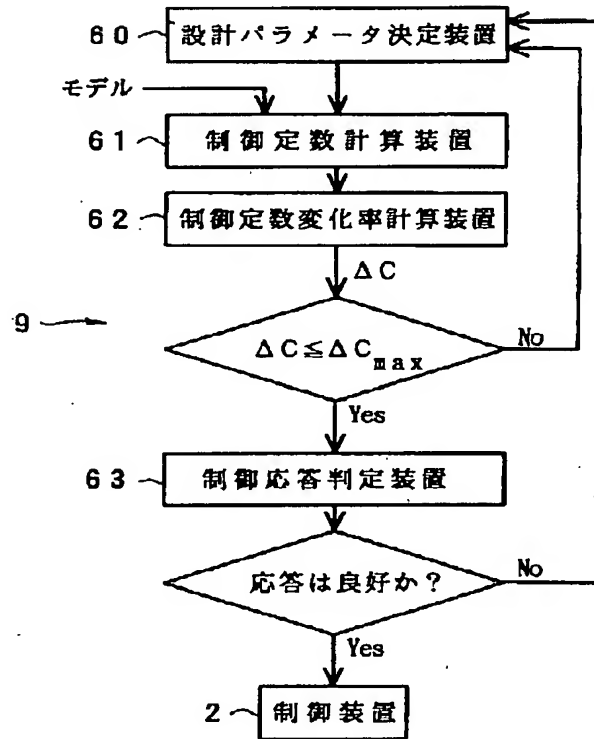
【図2】



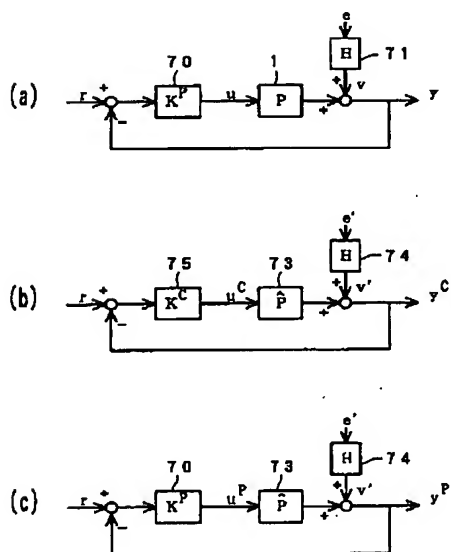
【図5】



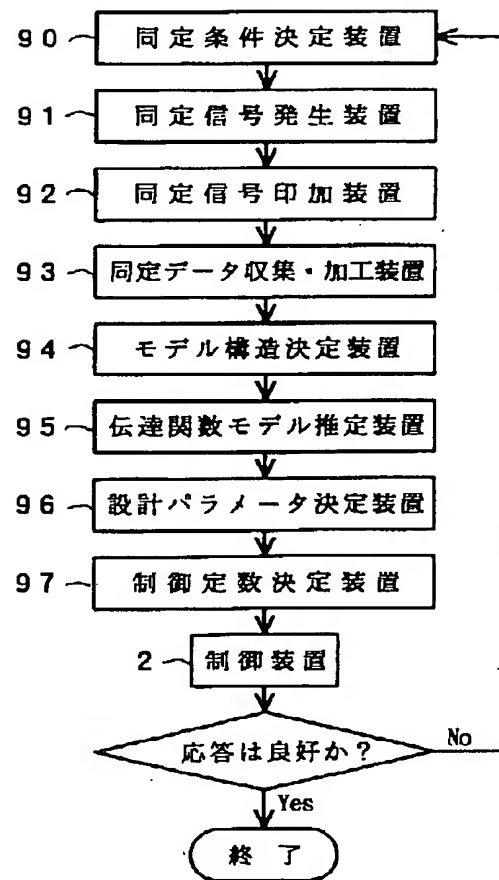
【図6】



【図7】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁵
G 0 5 B 23/02

識別記号
3 0 1

F I
G 0 5 B 23/02

3 0 1 W